

**SGC Grosseto Fano (E78).  
Tratto Nodo di Arezzo (S. Zeno) - Selci Lama (E45).  
Adeguamento a 4 corsie del tratto Le Ville - Selci Lama (E45).  
Lotto 7.**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**PG 364**

**ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI**

<p><b>IL GEOLOGO</b> <i>Dott. Geol. Salvatore Marino</i> Ordine dei geologi della Regione Lazio n. 1069</p>	<p><b>PROGETTISTI SPECIALISTICI</b> <i>Ing. Ambrogio Signorelli</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A35111</p>	<p><b>PROGETTAZIONE ATI:</b> (Mandataria) <b>GP INGENGERIA</b> <i>GESTIONE PROGETTI INGENGERIA srl</i></p> <p>(Mandante) <b>cooprogetti</b></p> <p>(Mandante) <b>engeko</b></p> <p>(Mandante) <b>AIM</b> <i>Studio di Architettura e Ingegneria Moderna</i></p>
<p><b>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</b> <i>Arch. Santo Salvatore Vermiglio</i> Ordine Architetti Provincia di Reggio Calabria n. 1270</p>	<p><i>Ing. Moreno Panfili</i> Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A2657</p>	<p><b>IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 12):</b> <i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 14035</p>
<p><b>L'ARCHEOLOGO</b> <i>Dott.ssa Maria Grazia Liseno</i> Elenco MIBACT n. 1646</p>	<p><i>Ing. Claudio Muller</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 15754</p>	<p><b>Stampa di firma:</b> <i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> ORDINE INGEGNERI ROMA N° 14035</p>
<p><b>VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO</b> <i>Ing. Michele Consumini</i></p>	<p><i>Ing. Giovanni Suraci</i> Ordine Ingegneri Provincia di RC n. A2895</p>	
<p><b>VISTO: IL RESP. DEL PROGETTO</b> <i>Arch. Pianif. Marco Colazza</i></p>	<p><i>Ing. Giuseppe Resta</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	

**OPERE D'ARTE MAGGIORI**  
Gallerie naturali – Elaborati Generali  
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo  
Scavo Meccanizzato

<b>CODICE PROGETTO</b>		<b>NOME FILE</b>		<b>REVISIONE</b>	<b>SCALA</b>
COMP.	PROGETTO	LIV.	ANNO	N.PROG.	
DP	LO702G	D2110			
<b>CODICE ELAB.</b>		<b>T O O G N O O O S T R E O 2</b>		<b>A</b>	<b>-</b>
<b>D</b>					
<b>C</b>					
<b>B</b>					
<b>A</b>	Emissione	Marzo '24	M.Martelli	A. Signorelli	G. Guiducci
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## INDICE

<b>1.</b>	<b><u>INTRODUZIONE</u></b> .....	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b><u>NORMATIVE DI RIFERIMENTO</u></b> .....	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b><u>DESCRIZIONE DEL PROGETTO</u></b> .....	<b>5</b>
<b>4.</b>	<b><u>INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO</u></b> .....	<b>7</b>
<b>5.</b>	<b><u>SISTEMA DI SCAVO</u></b> .....	<b>8</b>
5.1.	PREMESSA .....	8
5.2.	TIPOLOGIE DI FRESE .....	8
5.3.	SCELTA DELLA TIPOLOGIA DI FRESA .....	10
5.4.	CARATTERISTICHE TECNICHE.....	10
5.4.1.	<i>TBM</i> .....	10
5.4.2.	<i>Testa fresante</i> .....	11
5.4.3.	<i>Azionamento principale della testa di scavo</i> .....	11
5.4.4.	<i>Camera di scavo</i> .....	12
5.4.5.	<i>Scudo</i> .....	12
5.4.6.	<i>Sistema di estrazione e allontanamento materiale</i> .....	13
5.4.7.	<i>Coclea</i> .....	13
5.4.8.	<i>Nastro trasportatore primario (TBM)</i> .....	14
5.4.9.	<i>Nastro trasportatore secondario (back-up)</i> .....	14
5.4.10.	<i>Iniezione additivi</i> .....	14
5.4.11.	<i>Sistema di spinta</i> .....	15
5.4.12.	<i>Sistema di movimentazione conci</i> .....	15
5.4.13.	<i>Iniezione di intasamento a tergo dei conci</i> .....	16
5.4.14.	<i>Impianto aria compressa per interventi iperbarici</i> .....	16
5.4.15.	<i>Camere iperbariche</i> .....	17
5.4.16.	<i>Sistema di ventilazione</i> .....	17
5.4.17.	<i>Attrezzature di perforazione</i> .....	17
5.4.18.	<i>Monitoraggio atmosferico</i> .....	17
5.4.19.	<i>Sistema antincendio</i> .....	17
5.4.20.	<i>Cabina di comando e controllo</i> .....	18
5.4.21.	<i>Sistema elettrico</i> .....	18
5.4.22.	<i>Alimentazione elettrica d'emergenza</i> .....	18
5.4.23.	<i>Impianto acque</i> .....	18
5.4.24.	<i>Back-up</i> .....	18

PROGETTAZIONE ATI:

5.4.25. Attrezzature ausiliarie.....	19
<b>6. PRESCRIZIONI OPERATIVE DI AVANZAMENTO .....</b>	<b>20</b>
6.1. AVANZAMENTO IN MODALITÀ CHIUSA .....	20
6.2. AVANZAMENTO IN MODALITÀ APERTA .....	20
6.3. FERMI MACCHINA.....	21
<b>7. RIVESTIMENTO .....</b>	<b>23</b>
<b>8. VALUTAZIONE INTERFERENZE CON PREESISTENZE IN SUPERFICIE .....</b>	<b>24</b>

## **1. INTRODUZIONE**

Nella presente relazione sono illustrate le tecniche di scavo della galleria naturale **Citerna**, relativa al progetto definitivo denominato “SGC Grosseto Fano (E78). Tratto Nodo di Arezzo (S. Zeno) – Selci Lama (E45), Adeguamento A 4 Corsie Del Tratto Le Ville - Selci Lama (E45), Lotto 7”.

La realizzazione della galleria naturale è prevista in scavo meccanizzato tramite l'impiego di una TBM (Tunnel Boring Machine) scudata a contropressione di terra (EPB) in grado di affrontare le caratteristiche dai terreni previsti lungo l'allineamento del progetto, di fronteggiare le pressioni idrauliche e di mettere in opera, contemporaneamente all'avanzamento, un rivestimento impermeabile costituito da anelli in conci prefabbricati di cemento armato.

Le operazioni di scavo dovranno garantire:

- a) il corretto intasamento a tergo dei conci, controllato in termini di volume e pressione e contestuale all'avanzamento della macchina, in grado di riempire completamente e stabilmente ogni eventuale vuoto tra conci e terreno.
- b) La possibilità di scavare in fronti misti e disomogenei con terreni di natura e di comportamento geotecnico differenti, anche sotto falda.
- c) In corrispondenza delle tratte a bassa copertura (fino a 30 m) ed in particolare, per il sotto attraversamento di interferenze sensibili, la possibilità di contenere i cedimenti al piano campagna entro un valore corrispondente ad un volume perso ( $V_p$ ) pari a 0,5%, corrispondente al limite superiore delle condizioni di normale esercizio associata allo scavo in meccanizzato.
- d) Scostamenti dell'asse della galleria in costruzione non superiori a +/-10 cm, sia altimetricamente che planimetricamente, dall'asse teorico di progetto.
- e) La possibilità di superare eventuali tratte critiche, anche non individuate nel modello geotecnico di progetto.
- f) La possibilità di eseguire perforazioni esplorative in avanzamento per ricavare informazioni sull'ammasso e mettere a punto eventuali azioni correttive da intraprendere per il superamento delle criticità rilevate.
- g) La possibilità di eseguire perforazioni per eventuali interventi di consolidamento in avanzamento.
- h) La possibilità di eseguire indagini in avanzamento basate su metodologie di tipo geofisico (come per esempio col sistema BEAM (Bore Tunnelling Electrical Ahead Monitoring).
- i) La minimizzazione delle vibrazioni in fase di scavo.
- j) La possibilità di garantire le lavorazioni in continuo, senza alcuna interruzione di sorta, per l'attraversamento di tratte critiche.

## 2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Il presente progetto, relativamente agli aspetti stradali, è stato redatto sulla base dei seguenti riferimenti normativi:

- D.Lgs. 30-04-92, n. 285 e s.m.i.: “Nuovo Codice della Strada”;
- D.P.R. 16-12-1992 n. 495 e s.m.i.: “Regolamento di esecuzione e di attuazione del Codice della Strada”;
- DM 05-11-01, n. 6792 e s.m.i.: “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”;
- DM 05-06-01, G.U. n.217: “Sicurezza nelle Gallerie Stradali”;
- DM 18-02-92, n. 223: “Regolamento recante istruzioni tecniche per la progettazione, l’omologazione e l’impiego delle barriere stradali di sicurezza”, così come aggiornato dal DM 21/06/04: “Aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l’omologazione e l’impiego delle barriere stradali di sicurezza”.
- DM 28-06-2011 “Disposizioni sull’uso e l’installazione dei dispositivi di ritenuta stradale”, pubblicato sulla G.U. n. 233 del 06-10-2011;
- DM 19-04-06 “Norme funzionali e Geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali”, pubblicato sulla G.U. n. 170 del 24-07-06;
- ANAS, “Linee guida per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali secondo la normativa vigente”, Circolare n° 179431/2009;
- ANAS, “Caratteristiche Geometriche e funzionali delle Gallerie”, Circolare n° 179456/2009;
- UNI EN 16191:2014 - “Macchine per scavo meccanizzato di gallerie – Requisiti di sicurezza”

### 3. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

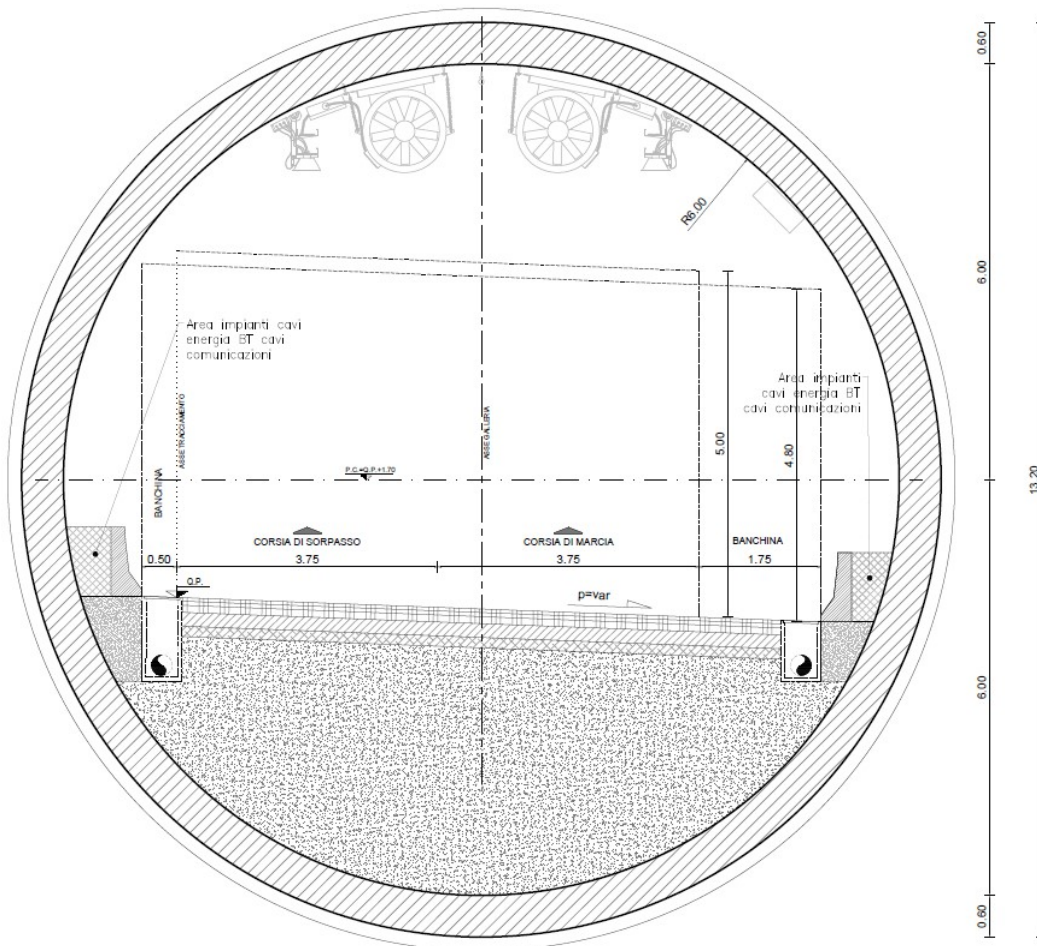
Per la galleria **Citerna** presenta un doppio fornice, la distanza tra gli assi delle gallerie stradali è pari a 35 – 37 m. Sono previsti by pass pedonali e piazzola di sosta, la cui posizione è indicata nella planimetria dell'opera.

Di seguito si riporta l'ubicazione degli interventi e la suddivisione tra la galleria artificiale e naturale.

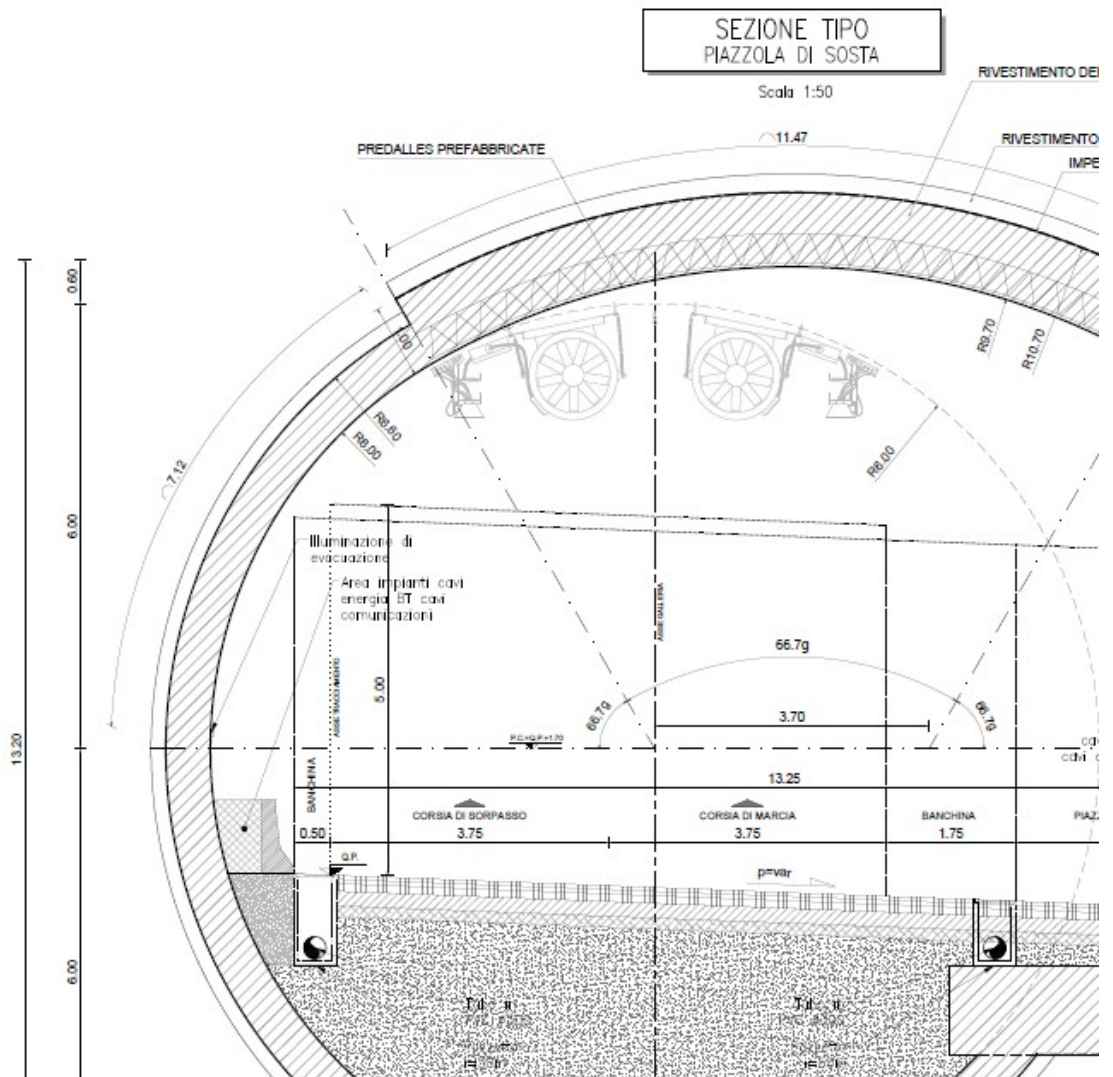
GN	Galleria Citerna– Dir Fano		Galleria Citerna – Dir Grosseto	
	Pk inizio	PK fine	Pk inizio	PK fine
	4+757	7+257	4+776.91	7+287.52

La copertura massima della galleria è pari a circa 130 m.

Nelle seguenti figure sono riportati gli schemi funzionali della galleria in sezione corrente e piazzola di sosta.



PROGETTAZIONE ATI:



PROGETTAZIONE ATI:

#### 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

Gli scavi della galleria interessano la formazione del Macigno – Membro di Molin Nuovo, la formazione del Sintema di Citerna – subsintema di Molin dell’Olio e la formazione Sintema di Fighille.

Ai fini della caratterizzazione geomeccanica per la progettazione della galleria, sono stati utilizzati i dati desunti da bibliografia integrati con i parametri ottenuti dai risultati di indagini eseguite in sito e laboratorio. Per maggiori approfondimenti si faccia riferimento alla relazione geomeccanica allegata al progetto.

Di seguito si riporta una tabella di sintesi dei campi di variabilità dei parametri rappresentativi di tutte le litologie che interessano la galleria. Tali parametri saranno impiegati nelle analisi volte alla valutazione del comportamento del fronte e del cavo.

Maggiori dettagli sono riportati nella Relazione Geomeccanica e nei Profili Geomeccanici specifici.

Tabella 5.1: Parametri di resistenza e deformabilità dei tratti in galleria

Domini Geotecnici	MTC1/UG8	CTA2/UG7a	FHL/UG9	
Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	19-21	19-21	19-21	
Coesione (kPa)	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10-30</b>	
Angolo di Attrito (°)	<b>38-42</b>	<b>38-42</b>	<b>24-28</b>	
Modulo di deformabilità (MPa)	<b>45*Z</b>	<b>35*Z</b>	<b>350-450</b>	
Coefficiente di Poisson	0.3	0.3	0.3	



## 5. SISTEMA DI SCAVO

La particolarità del tracciato e le caratteristiche del progetto hanno condizionato fortemente la scelta della metodologia di scavo. La scelta della macchina più appropriata al progetto che verrà svolta nel seguito potrà essere poi meglio valutata nelle successive fasi progettuali, e comunque l'Impresa esecutrice sarà libera di operare una scelta diversa da quella riportata in progetto, dopo aver dimostrato di poter ottenere le stesse prestazioni in termini di sicurezza, di risentimenti in superficie, di impatto con l'esterno, e di produttività previste

### 5.1. PREMESSA

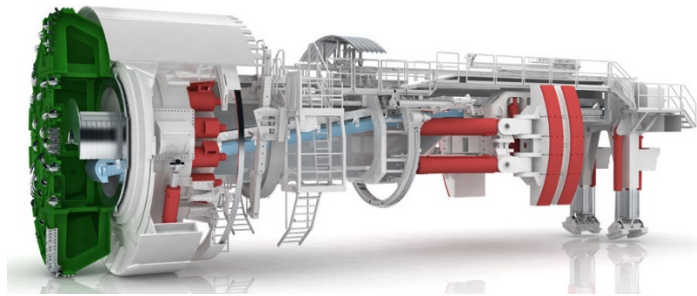
Lo scavo meccanizzato per la realizzazione di gallerie con l'impiego di frese a piena sezione è sempre più diffuso e applicato con successo alla maggior parte di ammassi rocciosi o terreni. A differenza dei metodi cosiddetti tradizionali, lo scavo meccanizzato garantisce maggiori produzioni abbinate a maggior sicurezza e salubrità dell'ambiente di lavoro.

Prima della scelta del sistema di scavo più appropriato al progetto, nei paragrafi che seguono viene fornito uno sguardo generale delle tecnologie di frese attualmente disponibili.

### 5.2. TIPOLOGIE DI FRESE

Le frese a piena sezione, normalmente indicate con l'acronimo TBM (Tunnel Boring Machine) possono essere divise in due grandi famiglie:

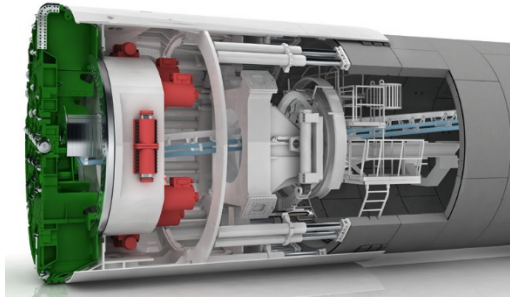
- **frese non scudate** (o aperte) che trovano applicazione unicamente in contesti in cui la qualità della roccia è tale da non richiedere l'immediata applicazione di un supporto continuo a tergo dello scavo e quindi utilizzabili esclusivamente in roccia di buona e ottima qualità ed in assenza di carichi idraulici.



- **frese scudate** che, dietro la testa di scavo sono equipaggiate con uno scudo che può sostenere il cavo, proteggere le maestranze a lavoro e consentire al suo interno la costruzione del rivestimento. Questa tipologia di TBM viene applicata ogniqualvolta il contesto geomeccanico è tale da non garantire la stabilità del contorno di scavo dietro la testa fresante.

Queste ultime possono a loro volta essere divise in base alla loro capacità di lavorare:

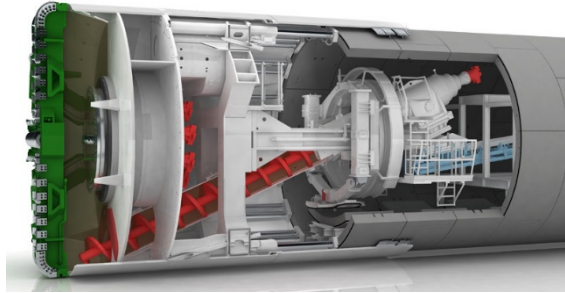
- **in modalità aperta** che, pur garantendo il supporto del contorno di scavo con lo scudo, non applicano alcuna pressione attiva di stabilizzazione al fronte di scavo e quindi possono essere utilizzate per scavo di rocce di media e bassa qualità e certamente non sono applicabili in caso di battenti idraulici all'interno dell'ammasso (sono ovviamente applicabili anche in roccia ottima qualità dove però vengono spesso preferite frese non scudate)



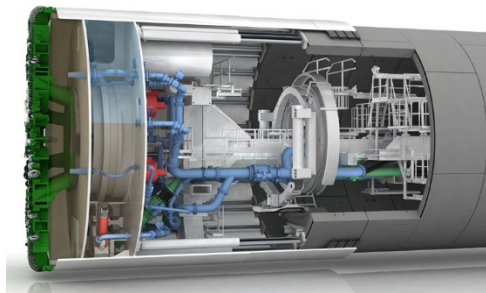
- in modalità chiusa che, isolando la parte interna della fresa dall'ammasso, sono capaci di applicare una pressione attiva al fronte e al contorno di scavo. Queste TBM costituiscono la migliore soluzione nei casi in cui la bassa qualità geomeccanica delle formazioni incontrate e la presenza di battenti idraulici richiedano l'applicazione di una pressione di supporto.

Le frese capaci di lavorare in modalità chiusa, possono essere successivamente divise in due sotto famiglie in funzione del metodo utilizzato per trasmettere la pressione di supporto al cavo:

- **frese EPB** (acronimo di Earth Pressure Balance). Queste TBM consentono di applicare una pressione di supporto al fronte attraverso il materiale scavato e opportunamente condizionato che riempie la camera di scavo a tergo della testa fresante. Il continuo bilanciamento tra avanzamento della fresa ed estrazione del materiale dalla camera di scavo permette il controllo della pressione all'interno della camera di scavo stessa che viene quindi trasferita al fronte.



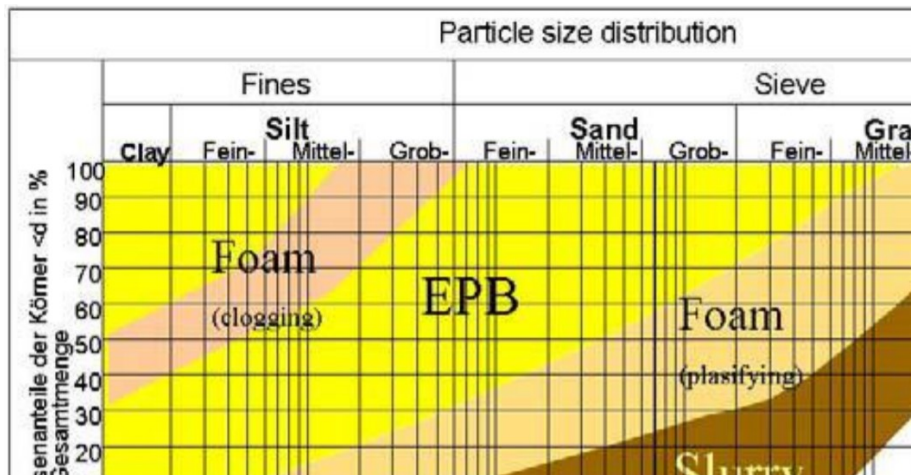
- **frese HYDROSHIELD**, che si differenziano dalle precedenti perché l'applicazione della pressione al fronte avviene attraverso un fluido pesante opportunamente pressurizzato in maniera totalmente svincolata dal sistema di allontanamento delle terre scavate.



La scelta tra queste ultime due tipologie di fresa dipende essenzialmente

- dalla gestione del materiale di scavo;
- dai livelli di pressione di terra attesi;
- ed infine, ma forse più importante dei precedenti, dalla granulometria attesa dei materiali da scavare:

PROGETTAZIONE ATI:



### 5.3. SCELTA DELLA TIPOLOGIA DI FRESA

Il tracciato della galleria presenta caratteristiche eterogenee, differenziandosi specialmente tra due macroformazioni principali presenti, di caratteristiche molto diverse:

- Sintema di Fighille, a grana prevalentemente fine, in cui si riscontrano le maggiori coperture, i maggiori battenti idraulici e le più rilevanti interferenze con preesistenze in superficie
- Macigno – Membro di Molin Nuovo, a grana grossa, con inclusione di ciottoli ed eventualmente massi, sebbene siano attesi di piccole dimensioni

La scelta della macchina deve tenere in considerazione i diversi comportamenti geomeccanici delle formazioni da attraversare ed allo stesso tempo prediligere una TBM che garantisca le migliori condizioni di scavabilità nelle formazioni che presentano le maggiori criticità.

Per tali motivi si è scelta, in questa fase, una fresa scudata EPB.

### 5.4. CARATTERISTICHE TECNICHE

Nel seguito viene fornita la descrizione della tipologia di TBM prescelta e dei suoi principali elementi, evidenziando caratteristiche e prestazioni minime che devono essere assicurate. Tali indicazioni non sono da considerarsi definitive, ma potranno subire variazioni in funzione delle scelte finali dell'Impresa esecutrice, pur rimanendo invariate le peculiarità di base espresse in questa relazione.

#### 5.4.1. TBM

La prescelta TBM mono-scudata è una macchina in grado di avanzare teoricamente sia in modalità chiusa con tecnologia EPB che in modalità aperta. In entrambi i casi la macchina avanza attraverso la spinta di opportuni martinetti che trovano contrasto sul retrostante rivestimento messo in opera dalla TBM stessa all'interno della parte terminale dello scudo. L'avanzare della macchina è accompagnato dal contemporaneo riempimento dello spazio di intercapedine anulare che si forma tra scavo ed estradosso del rivestimento.

Per queste tipologie di macchine sono previsti avanzamenti medi complessivi tra gli 8 e i 12 m/giorno a seconda delle condizioni specifiche del cantiere.

In modalità chiusa il sistema si basa sugli stessi terreni scavati per produrre una pressione di terra in camera di scavo in grado di contrastare la spinta del terreno davanti al fronte e la pressione dell'acqua di falda. Il terreno scavato è mantenuto in pressione all'interno della camera di scavo attraverso i martinetti di spinta dello scudo che trasferiscono la pressione al diaframma di separazione tra scudo e camera di scavo e quindi al terreno scavato. Durante lo scavo vengono iniettati attraverso degli ugelli posti sul diaframma e sulla testa fresante degli additivi per realizzare una membrana impermeabile sul fronte di scavo e rendere plastico il terreno scavato.

PROGETTAZIONE ATI:

L'estrazione del terreno avviene per mezzo di una coclea (pompa a vite) che permette lo "spillamento" controllato del materiale dalla camera di scavo e al mantenimento della pressione in camera di scavo, quindi prosegue su nastri trasportatori, vagoncini su rotaia o camion.

#### 5.4.2. TESTA FRESANTE

Lo scavo viene eseguito da una testa fresante che, progettata in funzione delle caratteristiche geomeccaniche delle formazioni attese, deve:

- essere costruita con acciai di ottima qualità;
- avere un grado di apertura adeguato alle formazioni geologiche previsti lungo l'allineamento della galleria;
- possedere un numero totale di utensili di taglio adeguato alle formazioni litoidi da affrontare ed avere più utensili che insistono nella pista di taglio più periferica;
- poter ruotare e scavare in entrambe le direzioni;
- essere dotata di utensili di scavo adatti ad affrontare tutte le formazioni;
- avere la possibilità di intercambiare dischi e denti nelle selle di fissaggio degli utensili, senza dover procedere ad alcuna modifica della struttura della testa;
- consentire la sostituzione degli utensili di scavo da dietro la ruota fresante, senza dover accedere al fronte;
- poter eseguire un sovrascavo continuo e sistematico mediante installazione/spostamento di più utensili periferici (overcut); in questa fase, si fissa il valore del sovrascavo a 5 cm;
- poter eseguire sovrascavi puntuali mediante uno o più utensili "estraibili", la cui posizione è regolata da un sistema idraulico controllato dalla macchina, senza impiego di personale nella camera di scavo. Lo stato di estensione dell'utensile deve essere segnalato o registrato in cabina di comando;
- essere dotata di protezione antiusura sulle superfici esposte;
- possedere un numero adeguato di ugelli per l'iniezione al fronte di prodotti specifici quali acqua, schiume, polimeri e fango bentonitico, uniformemente distribuiti e utili a migliorare le caratteristiche del materiale scavato;
- (*in configurazione chiusa*) possedere barre mescolatrici rimpiazzabili nella parte posteriore utili a mescolare ed omogenizzare il materiale all'interno della camera di scavo;
- avere fori per il passaggio delle aste di perforazione per l'esecuzione di eventuali sondaggi e consolidamenti in avanzamento.

#### 5.4.3. AZIONAMENTO PRINCIPALE DELLA TESTA DI SCAVO

Il gruppo di azionamento principale della testa di scavo deve:

- poter fornire una potenza ed una coppia tale da consentire l'attraversamento delle formazioni previste lungo l'allineamento della galleria ed assorbire gli shock generati da eventuali blocchi della rotazione. La coppia nominale massima disponibile dovrà essere di almeno 80.000 kNm. Il sistema dovrà inoltre avere la possibilità di esercitare una coppia eccezionale, superiore alla nominale, per brevi periodi al fine di affrontare eventuali situazioni critiche di blocco;
- far ruotare la testa di scavo in entrambi i sensi per la correzione del rollio della macchina e per consentire operazioni di manutenzione;
- far ruotare la testa di scavo a velocità compatibili con l'avanzamento in formazioni a comportamento litoide e quindi superiori almeno a 3,5 giri/minuto;
- possedere un cuscinetto principale nuovo o, se non nuovo, revisionato dal costruttore originario e certificato per una vita residua che copra almeno il doppio del periodo di scavo previsto, considerando le sollecitazioni attese dal progetto;
- possedere un cuscinetto principale permanentemente lubrificato e con sistema di trafilatura continua di grasso lubrificante al fine di risultare perfettamente stagno attraverso più stadi di guarnizioni che evitino l'ingresso di materiali contaminanti;

PROGETTAZIONE ATI:

- avere la possibilità di sostituire le guarnizioni di tenuta idraulica, se danneggiate, senza dover ricorrere alla realizzazione di opere speciali.

#### 5.4.4. CAMERA DI SCAVO

La camera di scavo, dotata di un diaframma metallico a tenuta stagna che separa la camera stessa dal resto della macchina, deve:

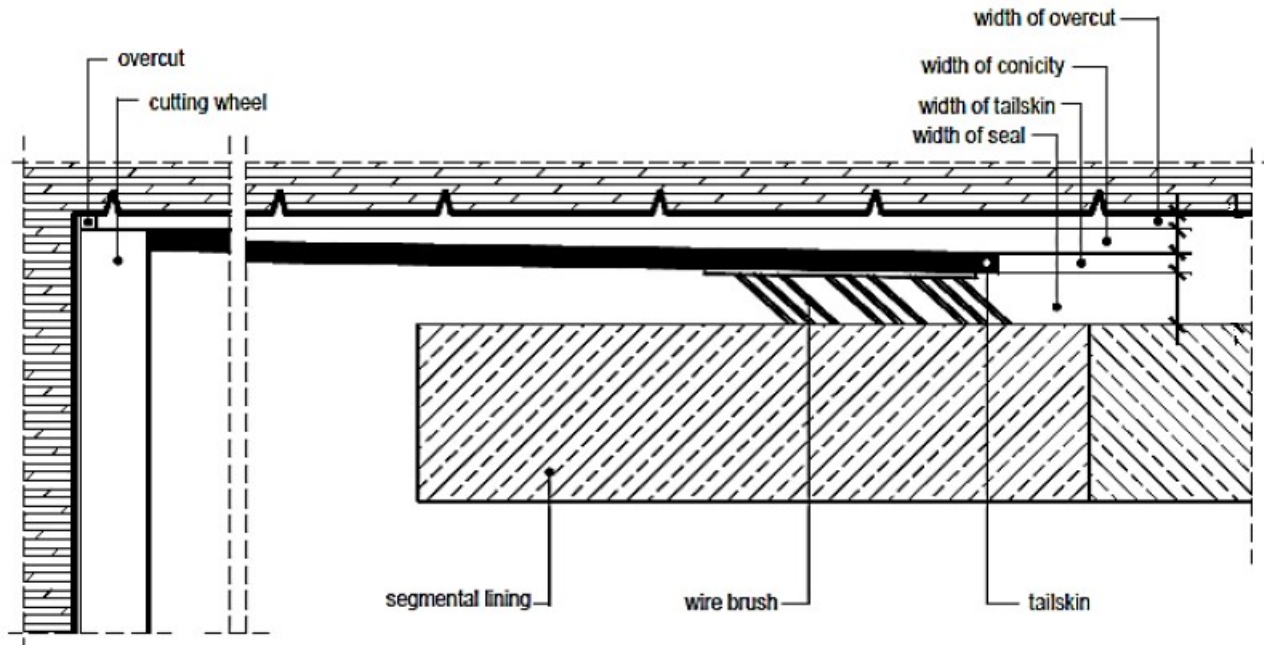
- possedere porte azionate idraulicamente per l'apertura e la chiusura ermetica della camera in caso di ritiro della vite della coclea all'interno del corpo dello scudo;
- possedere sensori di misura della pressione all'interno della camera di scavo, in numero adeguato e disposti a coppie ad intervalli di quota regolari. Due di questi sensori dovranno essere quanto più possibile posizionati in calotta, in modo da valutare correttamente lo stato di riempimento della camera di scavo;
- possedere un numero adeguato di ugelli per l'iniezione in camera di prodotti specifici quali acqua, schiume, polimeri e fango bentonitico, uniformemente distribuiti e utili a migliorare le caratteristiche del materiale scavato;
- avere una valvola di sfiato di eventuali accumuli di schiume o bolle d'aria in calotta;
- [in configurazione chiusa] possedere barre mescolatrici rimpiazzabili per il mescolamento del terreno fissate sul diaframma metallico;
- avere fori per il passaggio delle aste di perforazione per l'esecuzione di eventuali sondaggi e consolidamenti in avanzamento;
- possedere passaggi per approvvigionamento di acqua e aria compressa industriale, collegamenti elettrici, collegamenti telefonici, agganci ed alloggiamenti specifici per scale e piattaforme a supporto delle attività manutentive;
- avere passaggi per l'immissione dell'aria compressa respirabile a supporto di eventuali interventi manutentivi iperbarici.

#### 5.4.5. SCUDO

Lo scudo, che costituisce l'involucro in acciaio atto a sostenere la parte di galleria appena scavata e non ancora rivestita, è formato da una parte frontale che ospita l'azionamento principale della testa di scavo; una parte intermedia dedicata principalmente al sistema di spinta e una parte posteriore, o coda, dove avviene la messa in opera del rivestimento della galleria. Tale scudo deve:

- essere dimensionato considerando i potenziali carichi ovalizzanti e fenomeni di instabilità previsti;
- avere una lunghezza il più ridotta possibile per minimizzare l'attrito con il terreno e consentire una messa in opera del rivestimento quanto più prossima al fronte;
- avere una geometria troncoconica; si considera in questa fase una differenza in diametro tra scudo frontale e scudo di coda pari a 8 cm
- possedere un giunto di articolazione attiva, sigillato da opportune guarnizioni, capace di variare l'allineamento tra la parte anteriore e posteriore dello scudo, al fine di correggere la guida e arretrare il corpo anteriore con la testa fresante;
- essere dotato di un numero adeguato di fori distribuiti sulla superficie esterna del mantello per l'iniezione di liquidi lubrificanti al fine di diminuire l'attrito tra mantello e terreno;
- possedere feritoie disposte sulla circonferenza del mantello, dotate di tubi guida, per il passaggio di aste di perforazione per sondaggi in avanzamento, drenaggi e consolidamenti al contorno;
- avere una coda dotata di guarnizioni di tenuta idraulica costituite da almeno due successive file di spazzole in fili di acciaio armonico e l'ultima costituita da lamierini metallici, in modo da realizzare almeno due camere riempite di grasso attraverso apposite linee di pompaggio, per impedire l'ingresso di malta di riempimento, acqua o terreno in pressione. Tali guarnizioni devono essere sostituibili se consumate o danneggiate.

- avere una coda dotata di guarnizioni antiriflusso, alloggiata sul bordo esterno nella sezione terminale della coda in contatto col profilo di scavo, per evitare il passaggio della miscela d'iniezione verso lo scudo.



#### 5.4.6. SISTEMA DI ESTRAZIONE E ALLONTANAMENTO MATERIALE

La TBM dual-mode sarà dotata di due distinti sistemi di estrazione ed allontanamento del materiale dalla camera di scavo:

- in modalità chiusa, il materiale verrà estratto tramite una coclea che, posizionata nella parte bassa della camera di scavo, per mezzo della sua elica rotante convoglierà il materiale fino alla parte posteriore dello scudo scaricandolo a pressione ambiente sul nastro trasportatore (secondario) del back-up;
- in modalità aperta, l'allontanamento avverrà tramite nastro trasportatore (primario) posto al centro della camera di scavo che convoglierà il materiale fino alla parte posteriore dello scudo scaricandolo sul nastro trasportatore (secondario) del back-up;

#### 5.4.7. COCLEA

La coclea deve:

- essere dimensionata per una portata che garantisca le prestazioni di avanzamento della TBM. Per queste tipologie di TBM si prescrive un diametro interno della camicia non inferiore a 1.400 mm;
- poter fornire una potenza ed una coppia tale da consentire il corretto trasporto del materiale alla portata richiesta. Per queste tipologie di TBM si prescrive potenza installata non inferiore a 800 kW;
- poter essere ritirata idraulicamente dalla camera di scavo per effettuare le operazioni di controllo e manutenzione;
- poter invertire il senso di rotazione in caso di blocco;
- poter regolare la velocità della vite in funzione della velocità di avanzamento dello scudo;
- possedere, all'uscita del materiale nella parte posteriore, una porta a ghigliottina con apertura regolabile.
- avere ugelli in numero adeguato che permettano l'iniezione di prodotti specifici per il trattamento del materiale;

PROGETTAZIONE ATI:

- avere, lungo la sua lunghezza, sensori per il controllo della pressione;
- avere elica e camicia rivestite con materiale antiusura e sostituibili in caso di grave danneggiamento/usura;
- essere predisposta, nel suo tratto iniziale, per l'installazione di una pompa per l'evacuazione di eventuale materiale liquido fino al nastro trasportatore secondario.

#### **5.4.8. NASTRO TRASPORTATORE PRIMARIO (TBM)**

Il nastro primario deve:

- essere dimensionato per una portata che garantisca le prestazioni di avanzamento della TBM, con una larghezza del tappeto non inferiore ai 1.400 mm;
- essere dotato di tutti i sistemi di pulizia necessari in relazione ai terreni che si incontreranno nello scavo;
- essere reversibile;
- essere equipaggiato con tappeto di adeguata qualità e resistenza;
- essere dotato di sistema di blocco in caso di emergenza;
- essere fornito di una bilancia per la pesatura del materiale di scavo per il controllo del peso estratto, installata quanto più vicino possibile al fronte e in modo che risentano il meno possibile di effetti dinamici. La misura deve essere costantemente relazionata all'avanzamento della fresa per il controllo immediato di eventuali flussi di terreno in camera, ed evitare così l'innescò di pericolosi fornelli o la formazione di cavità. Le bilance dovranno essere sottoposte a periodica taratura;
- essere fornito di uno scanner volumetrico per rilevare in continuo il volume del materiale estratto, installato quanto più vicino possibile al fronte. La misura deve essere costantemente relazionata all'avanzamento della fresa per il controllo immediato di eventuali flussi di terreno in camera non provenienti dal fronte, ed evitare così l'innescò di pericolosi fornelli o la formazione di cavità. Lo scanner dovrà essere sottoposto a periodica taratura.

#### **5.4.9. NASTRO TRASPORTATORE SECONDARIO (BACK-UP)**

Il nastro secondario deve:

- essere dotato di tutti i sistemi di pulizia necessari in relazione ai terreni che si incontreranno nello scavo;
- essere reversibile;
- essere equipaggiato con tappeto di adeguata qualità e resistenza;
- essere dotato di sistema di blocco in caso di emergenza;
- essere fornito di due bilance per il controllo del peso del materiale estratto. La misura di tali bilance deve essere costantemente relazionata all'avanzamento della fresa per riconoscere quanto prima l'insorgere di problemi quali fornelli o formazione di cavità;
- essere fornito di uno scanner volumetrico per rilevare in continuo il volume del materiale estratto correlandolo alla misura delle suddette bilance.

#### **5.4.10. INIEZIONE ADDITIVI**

Come descritto nei paragrafi precedenti, la macchina deve essere dotata di un sistema completo per l'iniezione di diversi prodotti quali acqua, schiume, polimeri, fanghi bentonitici per il condizionamento del terreno scavato, durante lo scavo in modalità chiusa, al fine di:

- migliorare la stabilità del fronte di scavo;
- ridurre la coppia necessaria per la rotazione della testa e l'azione abrasiva dei terreni;
- migliorare la fluidità e ridurre la permeabilità del materiale scavato;
- facilitare l'evacuazione del materiale scavato.

L'iniezione di questi prodotti deve:

- essere possibile attraverso ugelli installati sulla testa, nella camera di scavo e attorno allo scudo della macchina;

PROGETTAZIONE ATI:

- essere progettata specificamente per le caratteristiche geotecniche del materiale interessato dallo scavo;
- essere eseguita con additivi biodegradabili, non classificabili come “rifiuti tossici o pericolosi” e comunque tali da condizionare il terreno in modo tale che sia possibile conferirlo senza particolari accorgimenti;

Per quanto attiene l'iniezione di schiume, il relativo sistema deve:

- possedere almeno 14 generatori di schiuma, installati quanto più vicino possibile ai punti d'iniezione in modo da evitare il deterioramento dell'additivo nella fase di trasporto;
- essere alimentato da compressori d'aria installati a bordo macchina e dimensionati per la massima richiesta d'aria;
- possedere linee d'iniezione indipendenti di dimensioni adeguate, deviabili in testa, in camera di scavo o nella coclea.

Per quanto riguarda invece l'iniezione di fanghi bentonitici, oltre alla normale possibilità di iniettare questi attraverso i suddetti ugelli, la macchina deve essere equipaggiata con un sistema automatico addizionale, denominato AFSS (Active Face Support System), per l'iniezione di bentonite nella camera di scavo al fine di compensare la perdita di pressione del materiale. Tale sistema deve:

- possedere serbatoi di bentonite in pressione di adeguata capacità, comunque non inferiore a 8 m<sup>3</sup>;
- entrare in funzione se dalla camera di scavo viene estratto una quantità di materiale superiore a quella preventivata, riducendo conseguentemente la pressione sotto un valore di allarme preimpostato;
- entrare in funzione se, durante un periodo di fermo (manutenzione, imprevisti, montaggio anello), la pressione in camera di scavo scenda sotto un valore di allarme preimpostato.

#### 5.4.11. SISTEMA DI SPINTA

La macchina avanza spingendosi con appositi martinetti sull'ultimo anello di conci montato. Tale sistema di spinta deve:

- garantire una spinta adeguata al fine di superare gli attriti tra terreno e mantello, controbilanciare e sostenere il fronte, ed essere in grado di superare eventuali situazioni critiche di blocco. La spinta disponibile alla pressione nominale di esercizio dovrà essere di almeno 200.000 kN. Il sistema dovrà inoltre avere la possibilità di esercitare una spinta eccezionale, superiore alla nominale, per brevi periodi al fine di affrontare le suddette eventuali situazioni critiche di blocco, fino a 300.000 kN;
- possedere martinetti di spinta distribuiti (singolarmente o in coppie) in modo uniforme attorno al corpo dello scudo e posizionati in accordo allo specifico progetto dei conci di rivestimento;
- possedere martinetti con corsa di avanzamento adeguata e confacente alla lunghezza del concio di rivestimento;
- avere martinetti di spinta suddivisi idraulicamente in almeno cinque gruppi indipendentemente regolabili per migliorare la manovrabilità dello scudo;
- avere almeno quattro martinetti equipaggiati con un misuratore di corsa;
- possedere l'estremità di ogni martinetto equipaggiata con un'scarpa ammortizzata, montata su giunto sferico di collegamento e coperta con materiale plastico per assicurare un contatto uniforme con l'anello di rivestimento.

#### 5.4.12. SISTEMA DI MOVIMENTAZIONE CONCI

I conci sono trasportati all'interno della galleria da appositi veicoli fino al punto in cui vengono presi in gestione dalla TBM. La macchina deve possedere:

- un sistema di scarico rapido dei conci dai veicoli di galleria che in questo modo potranno essere liberati in breve tempo;



- un argano capace di trasportare i conci dal sistema di scarico rapido al magazzino sotto descritto;
- un magazzino conci in grado di ospitare almeno un intero anello e capace di alimentare direttamente l'ereuttore sotto descritto;
- un ereuttore capace di mettere in opera il rivestimento.

Tale ereuttore di conci deve:

- essere in grado di movimentare conci delle dimensioni e peso previsti in progetto;
- possedere tutti i movimenti necessari al perfetto montaggio dell'anello di rivestimento;
- essere in grado di raggiungere e smontare il penultimo anello posto in opera;
- essere equipaggiato con un sistema di presa conci che rispetti tutti i requisiti di sicurezza richiesti e che impedisca il sollevamento del concio in caso di imperfetto aggancio.

I singoli conci vengono montati tra loro e collegati all'ultimo anello, già in opera, all'interno del mantello.

Nel montare un nuovo anello bisognerà assicurarsi che non ci siano giunti longitudinali allineati con l'anello precedente già montato. Bisognerà per ogni anello tenere nota della posizione del concio di chiave.



L'anello di tipo universale, consente, mediante la semplice rotazione attorno al proprio asse di un anello rispetto al precedente, di sfalsare i giunti longitudinali e di seguire l'andamento plano-altimetrico del tracciato e di apportare le eventuali necessarie correzioni in corso d'opera, senza ricorrere ad elementi speciali.

#### 5.4.13. INIEZIONE DI INTASAMENTO A TERGO DEI CONCI

Il sistema di riempimento con miscela bicomponente deve:

- garantire l'iniezione continua di ogni singolo anello quando questo fuoriesce dal mantello durante la spinta;
- essere capace di riempire completamente il vuoto anulare;
- possedere almeno 12 linee di iniezione indipendenti (più altrettante di riserva) con un diametro di almeno 50 mm, disposte uniformemente lungo la circonferenza dello scudo;
- avere numero di pompe pari al numero di linee ed installate il più vicino possibile ai punti d'iniezione per evitare l'eventuale otturazione delle tubazioni;
- possedere serbatoi di accumulo per entrambi i componenti di capacità adeguata a completare almeno un avanzamento. La malta di iniezione e il relativo accelerante potranno essere forniti direttamente dall'esterno attraverso tubazioni in galleria o con appositi serbatoi che viaggiano in galleria;
- essere provvisto di sistema di controllo continuo dei volumi di malta iniettati e della pressione di iniezione.

#### 5.4.14. IMPIANTO ARIA COMPRESSA PER INTERVENTI IPERBARICI

Il sistema di fornitura e regolazione dell'aria compressa in camera iperbarica e nella camera di scavo deve:

PROGETTAZIONE ATI:

- essere costituito da due impianti paralleli, completi e separati, uno di riserva all'altro, pronto ad entrare in funzione attraverso un commutatore, in caso di guasto del primo;
- essere dotata di appositi filtri per garantire la qualità dell'aria respirabile;
- possedere un impianto di produzione dell'aria compressa in grado di mantenere la pressione costante in camera di scavo, costituito da almeno due elettrocompressori, uno per ciascun impianto di alimentazione, installati all'esterno e dotati di potenza e capacità adeguata a fornire il volume d'aria richiesto. Tali compressori devono essere collegati in automatico, per intervenire immediatamente a qualsiasi calo di pressione.

#### **5.4.15. CAMERE IPERBARICHE**

La TBM deve essere equipaggiata con camere iperbariche per consentire l'accesso di personale e materiali alla camera di scavo allorché quest'ultima vada mantenuta in pressione. La camera per il personale deve:

- avere due camere indipendenti in parallelo;
- essere realizzata, equipaggiata e omologate secondo le norme vigenti in materia;
- consentire l'accesso al fronte nel modo più sicuro, agevole e rapido;
- essere localizzata nella parte superiore della struttura dello scudo.

#### **5.4.16. SISTEMA DI VENTILAZIONE**

La ventilazione della galleria è realizzata da:

- un impianto primario costituito da una stazione di ventilazione posta al portale che soffia aria attraverso una tubazione floscia che viaggia per tutta la galleria appesa in calotta;
- un impianto secondario che riprende l'aria del primario e la distribuisce sul back-up della TBM. Tale impianto deve essere dotato anche di sistema di abbattimento delle polveri da utilizzarsi durante lo scavo in modalità aperta.

Entrambi gli impianti devono avere prestazioni tali da garantire in ogni luogo un flusso d'aria in accordo alla normativa vigente per i lavori in sotterraneo.

#### **5.4.17. ATTREZZATURE DI PERFORAZIONE**

La TBM deve essere attrezzata con una macchina di perforazione polivalente, in grado di

- eseguire, attraverso feritoie e tubi guida predisposti nel mantello, fori in avanzamento del diametro minimo di 110 mm per sondaggi esplorativi sino almeno a 50 m di lunghezza ed interventi di consolidamento;
- rilevare, con opportuni sensori, i parametri di funzionamento quali spinta, velocità d'avanzamento ed energia assorbita che forniscono elementi per valutare la consistenza dell'ammasso.

#### **5.4.18. MONITORAGGIO ATMOSFERICO**

La TBM deve essere dotata di apparecchiature per il monitoraggio atmosferico in grado di rilevare carenza di ossigeno, la presenza di gas infiammabili, di gas tossici e radioattivi. I sensori di rilevazione dovranno essere montati nello scudo e lungo il back-up. Tutte le apparecchiature per il monitoraggio atmosferico dovranno azionare segnali acustici e ottici nel caso di allarme. Tutte le apparecchiature e i segnali elettrici necessari al monitoraggio e alla gestione dell'emergenza dovranno essere a tenuta stagna e antideflagranti.

#### **5.4.19. SISTEMA ANTINCENDIO**

Lo scudo e il back-up devono essere dotati di adeguati sistemi antincendio. Tali sistemi dovranno essere distribuiti sulla macchina e sul back-up in luoghi dove il rischio è particolarmente alto, quali:

- centraline idraulici principali,
- cabine elettriche,

- trasformatori,
- quadri elettrici.

#### 5.4.20. CABINA DI COMANDO E CONTROLLO

La cabina di comando e controllo deve essere climatizzata e ospitare:

- posto di guida con tutta la strumentazione di controllo e visualizzazione dei parametri della macchina;
- i computer di registrazione dei dati e parametri fondamentali del sistema di scavo;
- sistema di monitoraggio video dei punti nevralgici della TBM e del back-up;
- sistema di guida.

#### 5.4.21. SISTEMA ELETTRICO

La macchina è dotata di un sistema elettrico, alimentato dalle linee di galleria di media tensione, in grado di trasformare tale alimentazione in bassa tensione e distribuirla a tutte le utenze. Tale sistema sarà quindi composto essenzialmente da:

- un avvolgicavo in grado di garantire la continua connessione della macchina alla linea di galleria, con una capacità non inferiore a 300 m di cavo;
- cabine di sezionamento, trasformazione e distribuzione della potenza;
- gruppo elettrogeno di emergenza;
- quadri di controllo.

#### 5.4.22. ALIMENTAZIONE ELETTRICA D'EMERGENZA

Deve essere assicurata l'alimentazione elettrica d'emergenza per alcuni componenti della TBM per mezzo di gruppo elettrogeno che intervengono automaticamente in caso d'interruzione dell'alimentazione elettrica. Tali gruppi devono consentire il mantenimento dei seguenti sistemi essenziali:

- illuminazione;
- aggettamento acque;
- ventilazione;
- produzione aria compressa e sistemi di regolazione dell'aria compressa al fronte;
- sistemi di controllo e funzionamento del PLC di bordo;
- sistema monitoraggio atmosferico;
- sistema antincendio.

#### 5.4.23. IMPIANTO ACQUE

La macchina deve essere dotata di impianti in grado di gestire, da una parte, l'acqua industriale, di raffreddamento e antincendio e dall'altra le acque di aggettamento da conferire all'esterno della galleria. Tali impianti sono formati da vasche di accumulo e stazioni di pompaggio e sono costantemente collegati alle linee di galleria attraverso avvolgitubo dedicati con capacità non inferiore ai 25 m.

#### 5.4.24. BACK-UP

Lo scudo della TBM è seguito da una serie di carri dotati di robustezza e rigidità adeguata per ospitare le attrezzature al seguito dello scavo. Tali carri devono:

- avere una geometria idonea per affrontare le curve plano-altimetriche di progetto.
- essere attrezzati con tutti i dispositivi per movimentazione e stoccaggio dei materiali necessari per la costruzione della galleria;
- ospitare tutti gli impianti a servizio dello scavo;
- essere dotato di un sistema di aggettamento dell'acqua;
- essere provvisti di illuminazione:

PROGETTAZIONE ATI:

- avere passaggi pedonali che assicurino un movimento sicuro e facile del personale;
- possedere di un sistema CCTV per il controllo delle aree sensibili.

#### 5.4.25. ATTREZZATURE AUSILIARIE

Lo scavo meccanizzato è supportato da una serie di sistemi ed impianti ausiliari posti in galleria o nel piazzale adiacente all'imbocco della galleria. Principalmente si ha:

- sistema di allontanamento del terreno scavato, realizzato a mezzo di nastri trasportatori che, alimentati dalla TBM stessa, conferiscono il materiale nella successiva area di stoccaggio delle terre da scavo;
- area di raccolta delle terre di scavo, di sufficiente estensione per garantire, nel caso di scavo in modalità chiusa, il decadimento dei tensioattivi e la caratterizzazione del materiale senza comportare rallentamenti alla produzione della TBM. In prima approssimazione si stimano a tal fine circa 40.000 m<sup>2</sup>, dato che andrà comunque verificato dall'Impresa esecutrice.
- sistemi di movimentazione dei conci, che rendano possibile la gestione degli anelli di conci nel piazzale esterno e il trasporto di questi in galleria fino alla TBM;
- impianto elettrico, con cabine di trasformazione e distribuzione, gruppi elettrogeni di riserva e vari quadri elettrici locali. Per quest'impianto sono stati stimati circa 300 m<sup>2</sup>;
- impianto di ventilazione di galleria, che comprende la stazione di ventilatore al portale, la tubazione di adduzione dell'aria in mandata in galleria e i sistemi ausiliari di monitoraggio di qualità e quantità dell'aria;
- sistema per la preparazione delle miscele cementizie da utilizzare come riempimento a tergo dei conci e per altri scopi minori, formato da impianto di betonaggio, eventuale pompaggio in galleria, silos per stoccaggio materiali (cemento, bentonite, ...) e serbatoi per stoccaggio additivi. Per quest'impianto sono stati stimati circa 300 m<sup>2</sup>;
- sistema di gestione dell'acqua in galleria (industriale, di raffreddamento e antincendio), formato da vasche di accumulo, stazioni di pompaggio ed eventuali sistemi di raffreddamento. Per quest'impianto sono stati stimati circa 300 m<sup>2</sup>;
- sistema di generazione dell'aria compressa respirabile per supportare eventuali interventi iperbarici, formato da stazioni di produzione di aria compressa, serbatoi e sistemi di essiccazione e filtrazione dell'aria prodotta. Per quest'impianto sono stati stimati circa 100 m<sup>2</sup>;
- sistema di aggettamento delle acque di risulta, e successivo sistema di depurazione che solitamente è condiviso col resto delle attività di cantiere. Per quest'impianto sono stati stimati circa 800 m<sup>2</sup>;
- sistemi di comunicazione;
- impianto di illuminazione della galleria;
- magazzini, officine, uffici ed altri edifici minori.

## **6. PRESCRIZIONI OPERATIVE DI AVANZAMENTO**

In funzione delle caratteristiche geotecniche e delle condizioni di ammasso attraversate, per l'avanzamento della macchina di scavo, sono possibili le due modalità di scavo, aperta o chiusa, già citate.

### **6.1. AVANZAMENTO IN MODALITÀ CHIUSA**

La tratta dove si prevede l'avanzamento in modalità chiusa è indicata nel profilo geomeccanico di progetto. Tale modalità è adottata in situazioni di fronte instabile, in presenza di acqua. La TBM avrà la testa di scavo predisposta per la configurazione chiusa e coclea montata e avanzerà applicando contropressione al fronte, con camera di scavo completamente riempita. In questa zona si deve:

- mantenere la camera di scavo costantemente e completamente piena del materiale estratto, opportunamente condizionato, in modo da garantire una distribuzione omogenea ed uniforme di pressione di terra al fronte e senza cali di pressione tra una spinta e quella successiva;
- garantire la corretta applicazione della pressione al fronte, in modo da avere costantemente la necessaria stabilità del fronte di scavo;
- controllare di continuo le pressioni in camera di scavo attraverso la lettura dei valori dei sensori di pressione che devono rispettare i valori di riferimento individuati;
- controllare di continuo la quantità di materiale estratto dalla camera di scavo con l'utilizzo delle bilance installate sul nastro trasportatore e dello scanner volumetrico.
- porre in opera il rivestimento definito a conci prefabbricati;
- intasare il tergo del rivestimento, contemporaneamente all'avanzamento, iniettando il volume di malta necessario per garantire la completa ed omogenea saturazione dell'intercapedine, controllato in termini di volume e pressione;
- mettendo a disposizione della Direzione Lavori, in modo assolutamente trasparente, tutti i dati, opportunamente rilevati, relativi ai parametri operativi della macchina
- garantire che le operazioni di manutenzione, riparazione e ispezione nella camera di scavo avvengano esclusivamente in modalità iperbarica, svuotando la camera di scavo parzialmente o totalmente se necessario, creando al fronte una membrana di protezione con bentonite, per contenere le instabilità e le venute d'acqua, e garantendo comunque la contropressione al fronte con l'ausilio di aria compressa.

### **6.2. AVANZAMENTO IN MODALITÀ APERTA**

Tale modalità è adottata in situazioni di fronte stabile o stabile a breve termine e dove non siano attese venute d'acqua significative. La TBM avrà la testa di scavo predisposta per la configurazione aperta e il nastro di smarino primario montato e avanzerà quindi senza applicare contropressione al fronte, con camera di scavo completamente vuota o solo parzialmente riempita. In questa zona si deve:

- controllare di continuo la quantità di materiale estratto dalla camera di scavo con l'utilizzo delle bilance installate sul nastro trasportatore e dello scanner volumetrico.
- porre in opera il rivestimento definito a conci prefabbricati.

### 6.3. FERMI MACCHINA

Si possono verificare le seguenti situazioni di fermo macchina:

- 1) Fermo che non prevede lo svuotamento della camera di scavo.
- 2) Fermo di qualsiasi natura che include lo svuotamento parziale o totale della camera di scavo.

In funzione della presenza o meno della falda dovranno essere adottate per ogni tipo di fermo le procedure riportate di seguito.

*Si rappresenta che in ogni caso saranno da evitare fermi fronte per esigenze manutentive in prossimità delle zone in cui sono presenti preesistenze in superficie e nei tratti con i maggiori battenti idrici.*

#### 1) Fermo senza svuotamento della camera di scavo

##### 1a) In presenza di falda

Si completa la realizzazione dell'ultima spinta nelle condizioni di pressioni di scavo previste per ogni tratta nell'elaborato di dettaglio.

Durante il fermo la pressione al fronte deve rimanere all'interno dell'intervallo prefissato; se necessario, quando la pressione dovesse scendere per effetto del normale "rilassamento" al di sotto del valore di attenzione, si dovrà provvedere a pompare bentonite (sistema "AFSS") fino a riportare il valore a quello di riferimento. Questa operazione verrà ripetuta tutte le volte che sarà necessario.

La ripartenza inizierà girando la testa ed eventualmente contemporaneamente spingendo sul fronte prima d'attivare la coclea, per aumentare la pressione sui sensori fino a raggiungere la situazione prevista per lo scavo; solo in quel momento potrà iniziare l'avanzamento.

##### 1b) In assenza di falda

Si completa la realizzazione dell'ultima spinta nelle condizioni di pressioni di scavo previste per ogni tratta nell'elaborato di dettaglio. Durante gli ultimi giri si dovrà usare eventualmente bentonite o aumentare la quantità di schiuma additivata con polimeri per aiutare a mantenere le pressioni durante il fermo.

Durante il fermo la pressione al fronte deve rimanere all'interno dell'intervallo prefissato. Si procederà all'iniezione di bentonite nella camera per compensare l'eventuale "rilassamento" delle pressioni del materiale all'interno della camera di scavo e si continuerà a farlo tutte le volte che verrà raggiunto il valore di attenzione inferiore.

La ripartenza inizierà girando la testa ed eventualmente contemporaneamente spingendo sul fronte senza attivare la coclea, per aumentare la pressione sui sensori fino al valore previsto per lo scavo da effettuare.

#### 2) Fermo con svuotamento della camera di scavo

##### 2a) In presenza di falda

Nel caso in cui non si possa evitare d'intervenire nella testa, si mescola bentonite al terreno in modo da ottenere una pasta il più possibile omogenea ed impermeabile, poi si inizia a svuotare la testa fino al livello necessario per l'attività da eseguire. Contemporaneamente allo svuotamento si riempie il vuoto che si crea con aria in pressione ai valori indicati nel progetto di dettaglio, in modo

da garantire la stabilità del fronte. In questo caso, per effettuare l'intervento nella testa, si dovrà fare uso della camera iperbarica.

La ripartenza avviene effettuando il riempimento della camera di scavo con una sospensione di bentonite e/o con una miscela di sabbia, acqua e bentonite.

In alternativa si potrà iniziare a scavare senza asportare terreno in modo che, aprendo le valvole per la fuoriuscita dell'aria all'interno della fresa, il vuoto venga progressivamente riempito dal terreno.

## **2b) In assenza di falda**

Si completa l'ultima spinta nelle condizioni di pressioni di scavo previste per ogni tratta nell'elaborato di dettaglio.

Poi si farà funzionare la coclea, svuotando dalla testa la quantità di marino necessaria per raggiungere il livello ottimale che permetta di eseguire l'intervento nella camera di scavo.

Prima della ripartenza si riempirà la camera di scavo con inerti (sabbie) fino al livello della porta d'ingresso della camera iperbarica, iniettando poi bentonite fino al raggiungimento della pressione media di riferimento.

Raggiunta la pressione media di riferimento, si mescola il materiale in ingresso con la sabbia e bentonite, con coclea chiusa in modo da mantenere le pressioni. Quindi si apre la coclea e s'inizia a smarinare il terreno misto che mano a mano lascerà lo spazio al terreno naturale.

## 7. RIVESTIMENTO

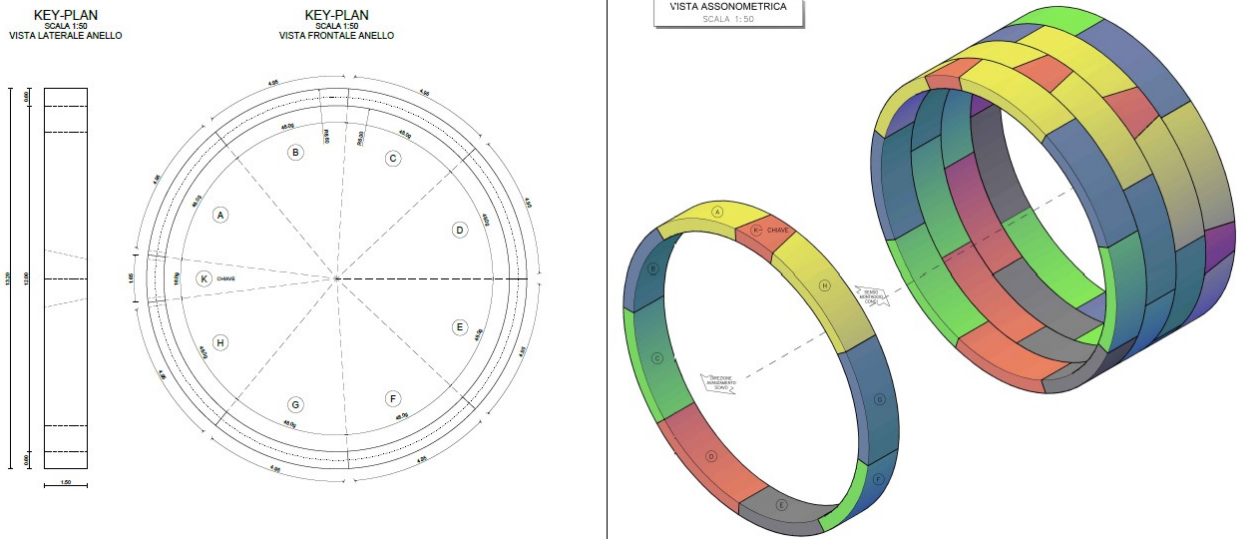
Il rivestimento della galleria in elementi di calcestruzzo armato costituisce un sostegno impermeabile ed è messo in opera direttamente dalla TBM, tramite l'erettore all'interno dello scudo di coda.

Tale rivestimento deve sopportare i carichi indotti dall'ammasso, dall'eventuale presenza di acqua e dalla spinta di avanzamento dello scudo, grazie a resistenza meccanica e precisione geometrica che evitano lo sviluppo di sforzi che possano indurre danni e rotture.

La tenuta idraulica del rivestimento è garantita da guarnizioni montate sul perimetro dei conci, in prossimità dell'estradosso.

Il rivestimento definitivo consiste di anelli della lunghezza di 1,50 m e spessore 0,6 m. Il diametro interno dell'anello di rivestimento è pari a 12,0 m, il diametro esterno è pari a 13,2 m. L'anello sarà costituito da otto elementi più il concio di chiave. Tutti gli elementi devono presentare una superficie di estradosso quanto più possibile liscia e uniforme per garantire la durata prestazionale delle spazzole di tenuta poste all'interno dello scudo di coda della TBM.

La geometria del concio e quindi dell'anello tiene conto dell'andamento plano-altimetrico previsto dal tracciato di progetto ed è di tipo universale per consentire, tramite semplice rotazione attorno al proprio asse di un anello rispetto al precedente, di sfalsare i giunti longitudinali e di seguire l'andamento plano-altimetrico del tracciato.



I singoli conci che formano l'anello di rivestimento sono posti in opera con l'utilizzo di connettori a taglio tra conci di anelli contigui e barre guida e bulloni tra le facce di contatto di conci dello stesso anello.

La tenuta stagna dei giunti è garantita da guarnizioni in EPDM di tipo integrato e ancorato al calcestruzzo. Tali guarnizioni devono garantire la piena tenuta sotto i battenti idraulici previsti in progetto e devono essere resistenti agli agenti atmosferici cui sono soggette durante lo stoccaggio dei conci all'aperto.

PROGETTAZIONE ATI:



## 8. VALUTAZIONE INTERFERENZE CON PREESISTENZE IN SUPERFICIE

Lo scavo condotto con TBM EPB consente di minimizzare ed al limite annullare le deformazioni tipicamente correlate a metodi di scavo tradizionali dovute a:

- Marcati deconfinamenti del materiale al contorno dello scavo
- Variazione del regime di pressioni neutre, dovute al naturale effetto drenante degli scavi

Non è possibile invece eliminare le problematiche legate ai volumi persi; per la galleria Citerna, il contributo più rilevante di volumi persi può essere legato

- alle estrusioni del fronte in fase di scavo: sebbene la pressione applicata con continuità al fronte riesca a minimizzare il fenomeno, non è possibile equalizzare le pressioni geostatiche, in particolare nelle condizioni di alte coperture
- al volume perso tra scudo e coda.

*Per tali motivi, alla macchina di scavo che sarà impiegata negli scavi della galleria Citerna si impone un volume perso  $V_p$  massimo pari allo 0,5% del volume teorico scavato.*

Di seguito si riportano stime dei cedimenti al piano campagna nei due casi limite  $V_p = 0,4\%$  e  $1,0\%$ . I due valori proposti comprendono tutte le situazioni intermedie.

<b><math>V_p</math> (%)</b>	<b>Condizione</b>
0.4	Condizione limite di normale esercizio TBM.
1.0	Raggiungimento della soglia di allarme. Analisi cautelativa i cui risultati permettono di avere un quadro dei possibili effetti indotti da imprevisti locali per il funzionamento dello scavo meccanizzato e per il contesto geologico.

Per la valutazione dei cedimenti a breve termine indotti dallo scavo in senso trasversale all'asse della galleria, in condizioni "green field" (superficie libera), si impiegherà la curva di probabilità normale ricavabile dalla seguente equazione (Attewell et al. 1986):

$$S_v = \frac{0.313 \cdot V_p \cdot \phi^2}{(k \cdot z_0)} \cdot e^{\left(\frac{-y^2}{2i^2}\right)}$$

In cui:

$S_v$  = cedimento verticale nel punto posto alla distanza  $y$  dall'asse della galleria

$V_p$  = volume perso in superficie, durante lo scavo, per unità di lunghezza - viene espresso come percentuale nominale del volume teorico di scavo. Rappresenta l'area sottesa tra la curva dei cedimenti del piano campagna e la sua superficie indeformata

$\phi$  = diametro della galleria

$k$  = coefficiente adimensionale dipendente dalla natura dei terreni attraversati; si ha  $k=0.35$  per terreni granulari e  $k=0.5$  per terreni coesivi

$z_0$  = profondità dell'asse longitudinale della galleria da p.c.

$y$  = coordinata del punto (di cui si vuole definire il cedimento) misurata rispetto all'asse della galleria

$i = k \times z_0$  = distanza fra il punto di flesso della curva e l'asse della galleria

PROGETTAZIONE ATI:

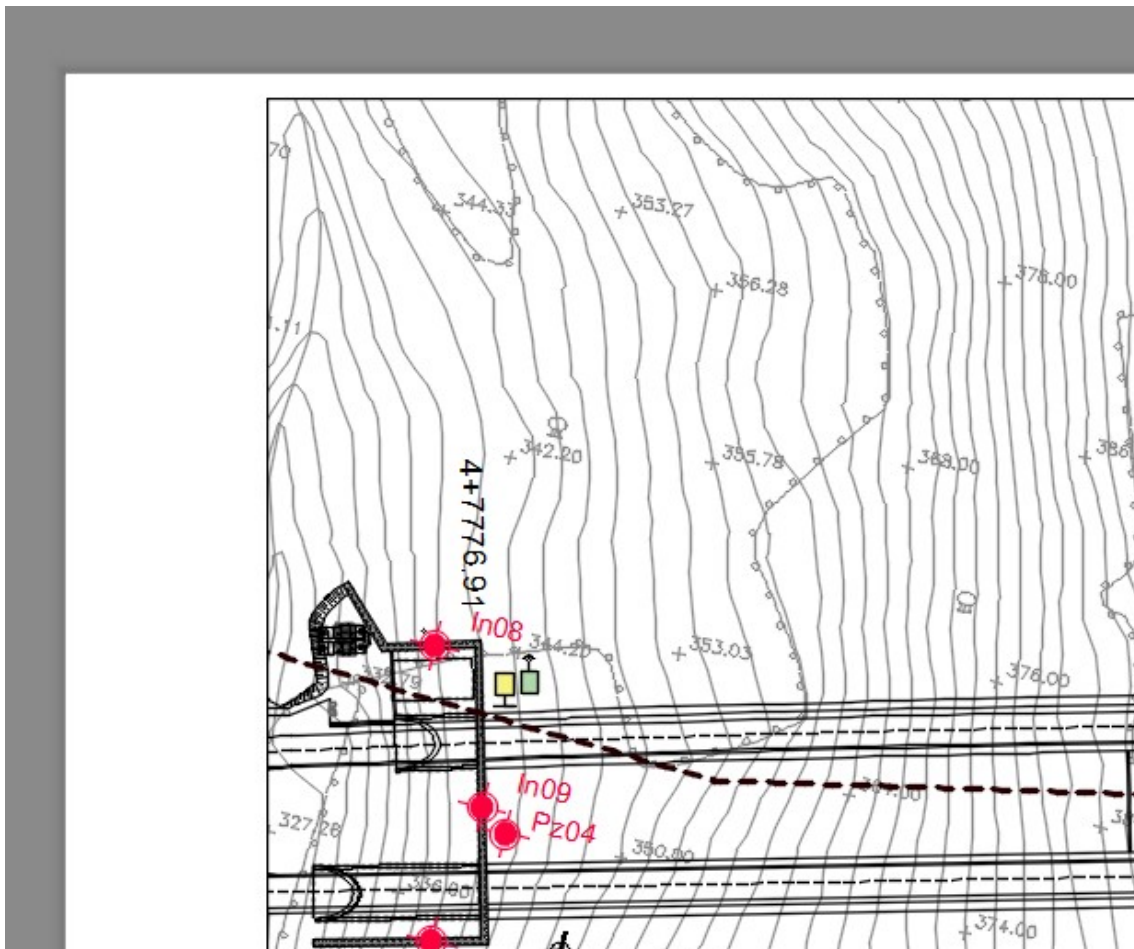
Per l'analisi della subsidenza indotta dalle due gallerie appaiate si opera con la sovrapposizione degli effetti.

Si rappresenta che il modello sopra citato è particolarmente valido per gallerie superficiali; per gallerie profonde (rapporto tra copertura  $c$  e diametro  $\phi > 3$ ), la stima condotta risulta sensibilmente cautelativa, considerato l'effetto mitigatore operato dagli strati di terreno al di sopra della galleria e la creazione di un effetto arco al contorno dello scavo.

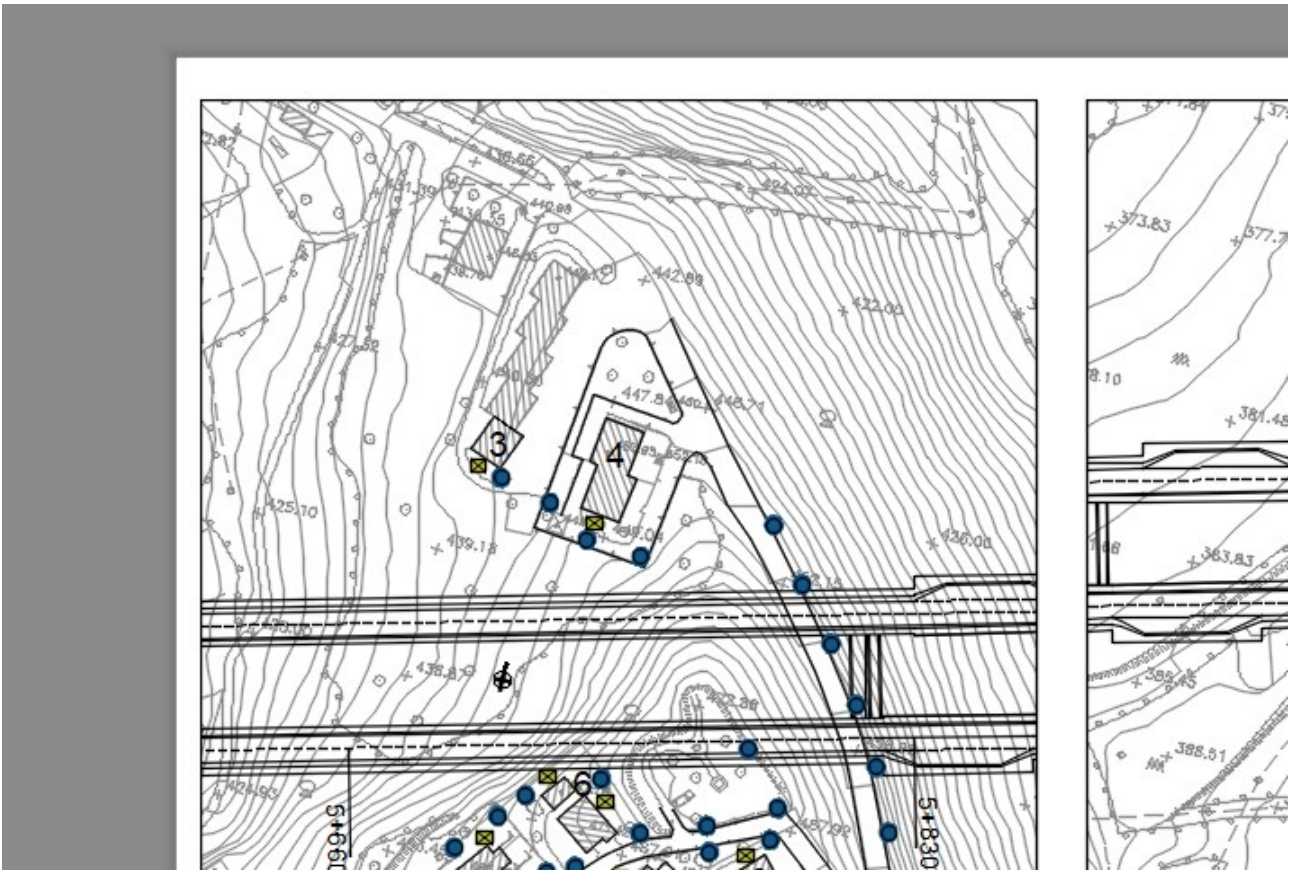
Nelle planimetrie di monitoraggio sono indicate le aree in cui gli scavi possono interferire con le preesistenze; con riferimento alla canna dir. Fano:

Progressiva	Tipologia interferenza	Copertura [m]	Litologia \ k
4+990	Edifici	60	Granulare \ 0.35
5+660 ÷ 5+830	Centro abitato Citerna	100-120	Grana fine \ 0.5
6+540	Cimitero	65	Grana fine \ 0.5

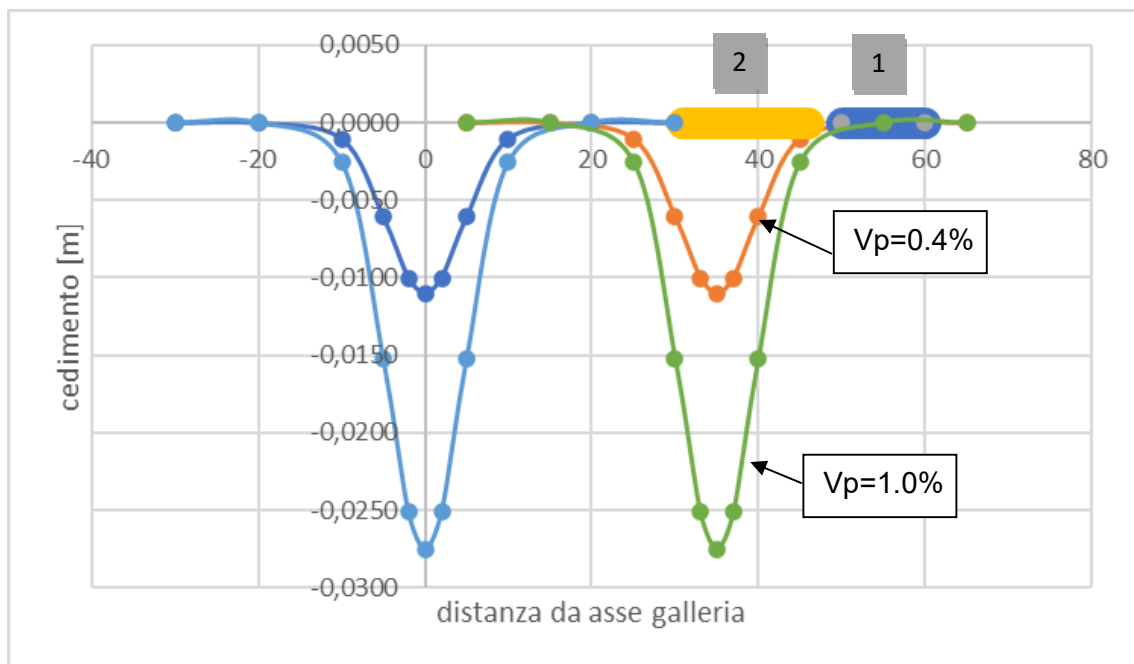
I valori di copertura minimi sono in ogni caso elevati, da cui  $c / \phi > 4$ ; si può stabilire che i valori di cedimento di seguito riportati costituiscano dei limiti superiori.



PROGETTAZIONE ATI:



- Per l'interferenza a **pk 4+990** si ottengono le seguenti curve di subsidenza, valutate per i due casi  $V_p = 0,4\%$  e  $1,0\%$  : :

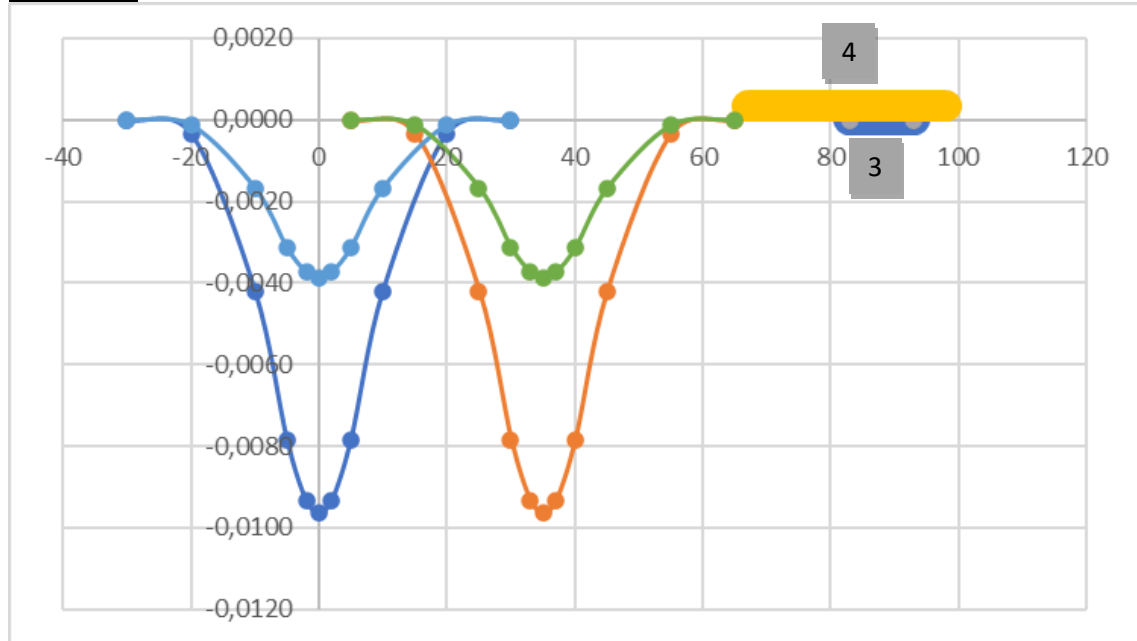


PROGETTAZIONE ATI:

I cedimenti, per ogni singola canna, si esauriscono ad una distanza pari a 15-20 m dall'asse della galleria; in definitiva, per gli edifici 1 e 2 risulta significativo il solo scavo in dir. Grosseto. In condizioni di normale esercizio il cedimento massimo è pari a circa 1 cm per l'edificio 2 e trascurabile per l'edificio 1. In condizioni eccezionali, potrebbero manifestarsi cedimenti pari a circa 2.75 cm e 0.2 cm.

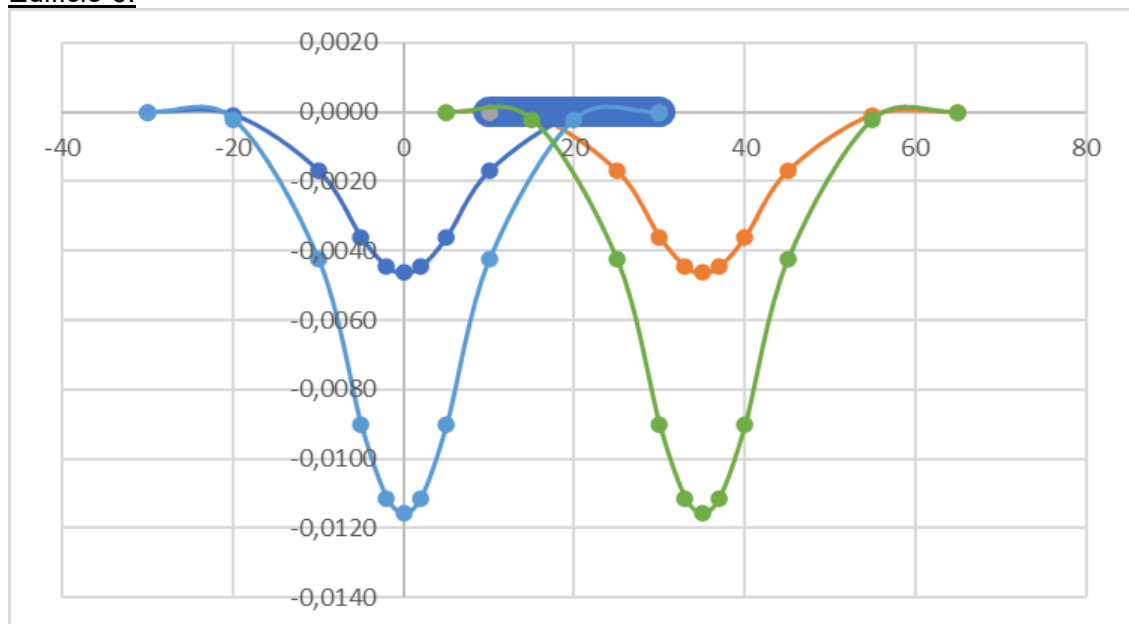
- Per l'abitato di **Citerna**, per gli edifici più prossimi agli assi:

Edifici 3-4



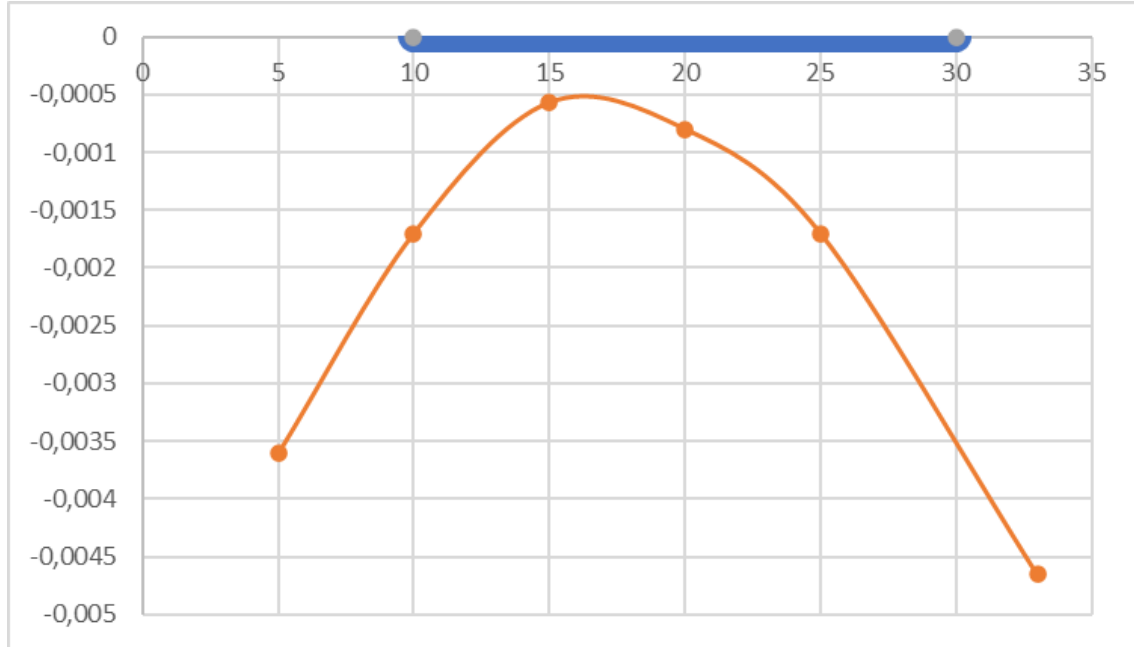
Anche in questo caso la curva di subsidenza si esaurisce a piccole distanze dall'asse della galleria ed i due edifici non risultano interessati dai cedimenti.

Edificio 6:

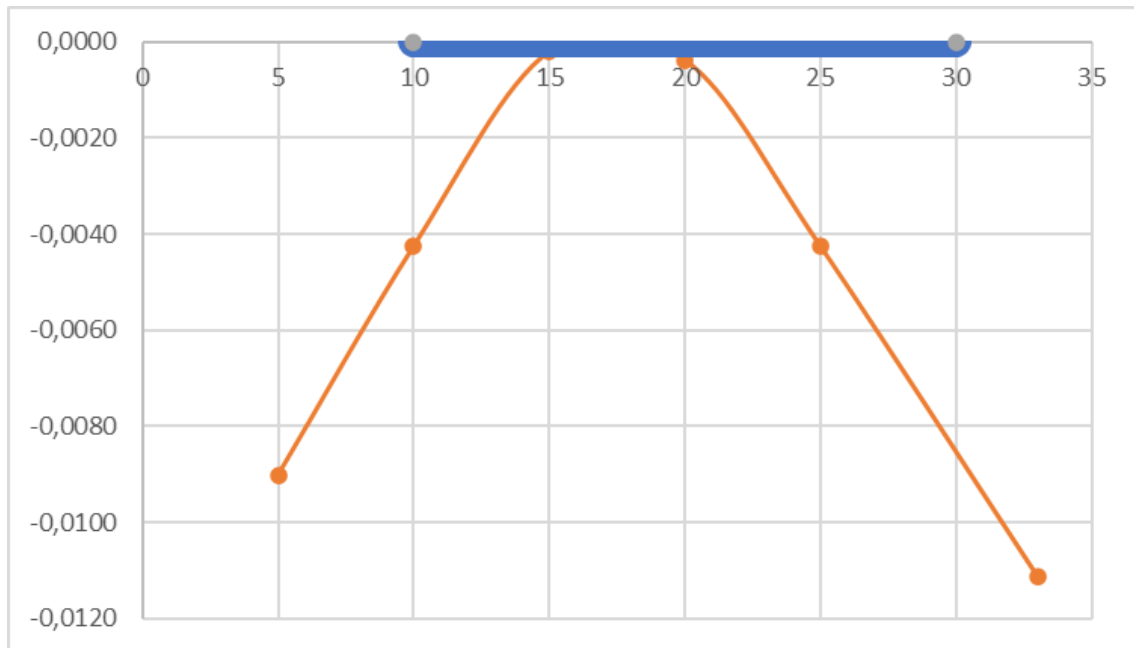


PROGETTAZIONE ATI:

Sommando i contributi delle due gallerie, per le normali condizioni di esercizio ( $V_p = 0.4\%$ ) si ottiene:

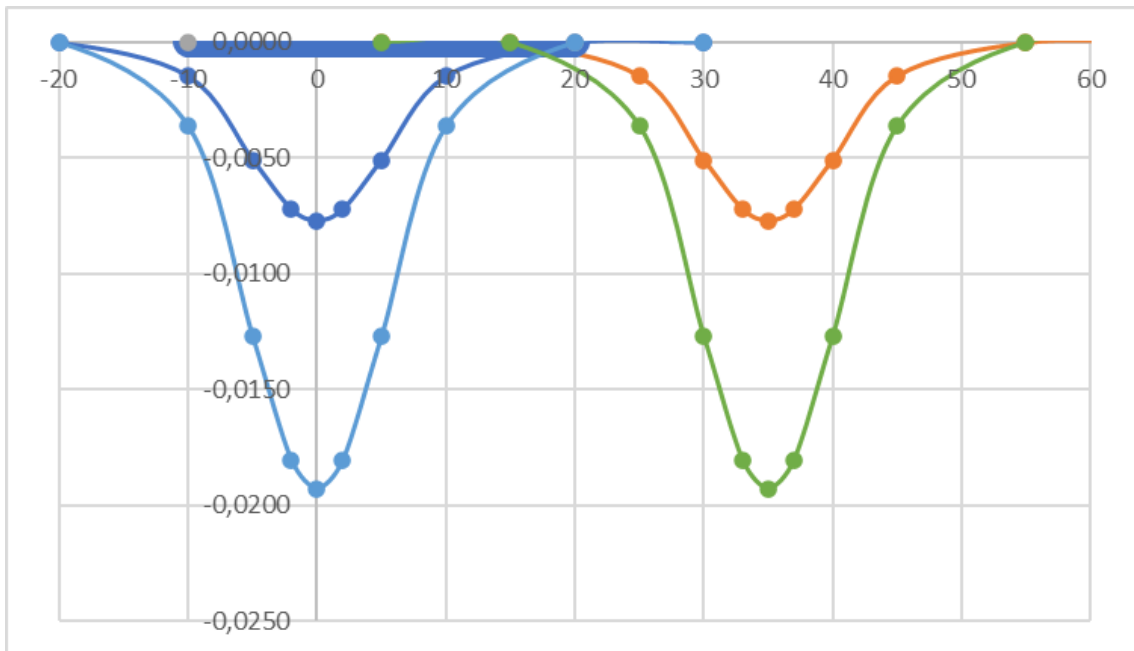


Sommando i contributi delle due gallerie, per condizioni eccezionali ( $V_p = 1.0\%$ ) si ottiene:

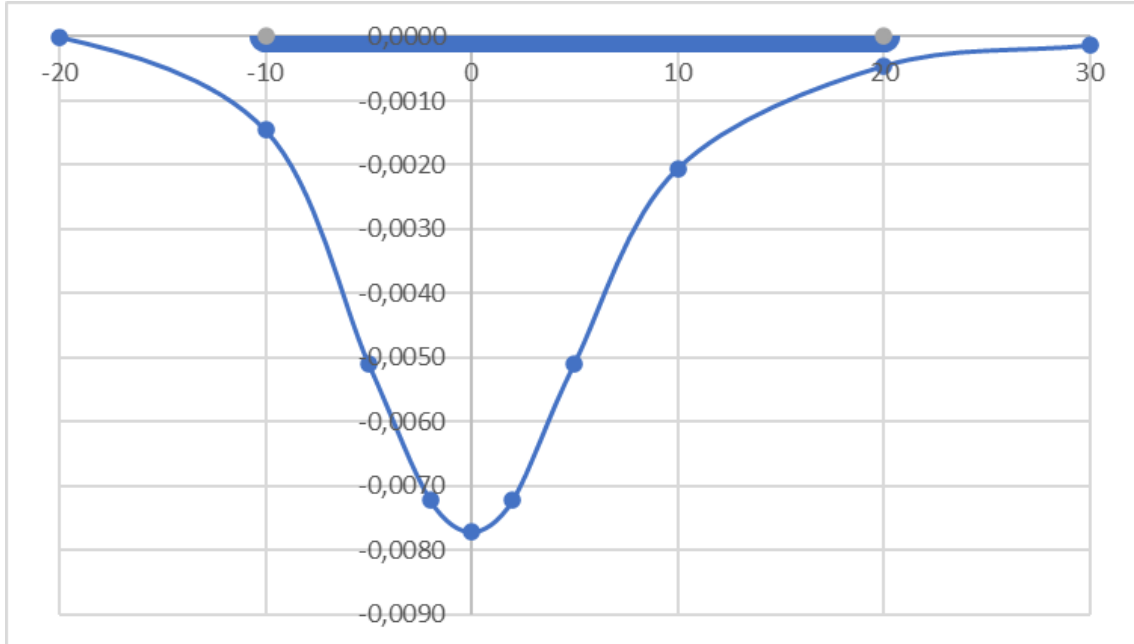


L'edificio ricade nelle curve di subsidenza delle due gallerie; in normali condizioni di esercizio il massimo cedimento è inferiore a 5,0mm; in condizioni eccezionali è pari a circa 1 cm.

- Per il **cimitero**:

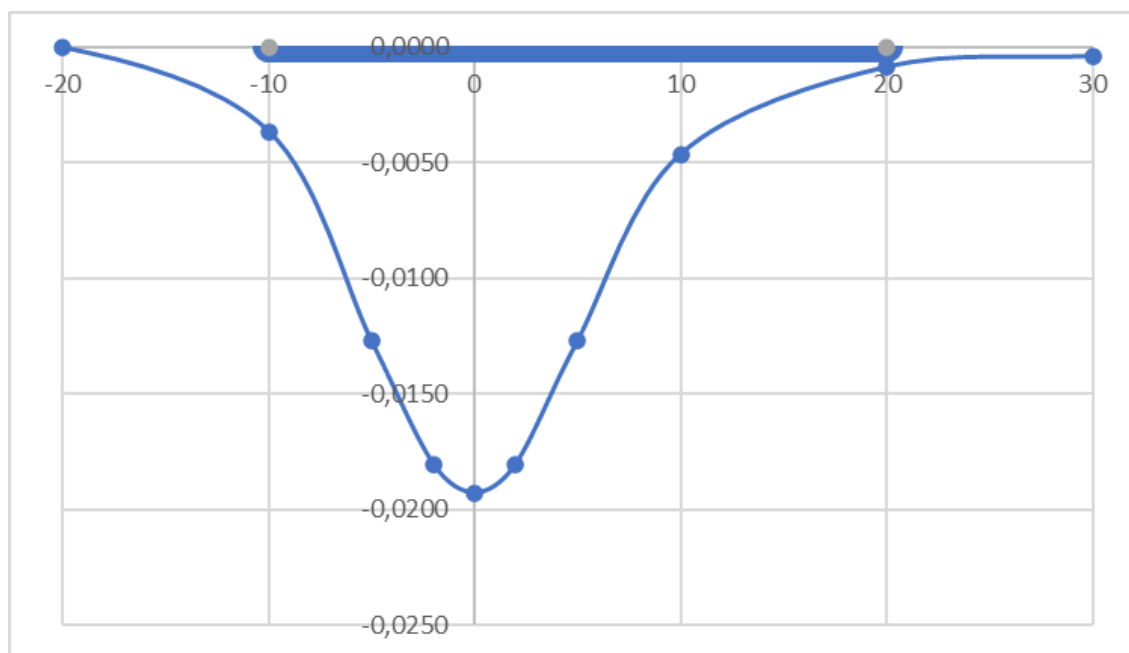


Sommando i contributi delle due gallerie, per le normali condizioni di esercizio ( $V_p = 0.4\%$ ) si ottiene:



PROGETTAZIONE ATI:

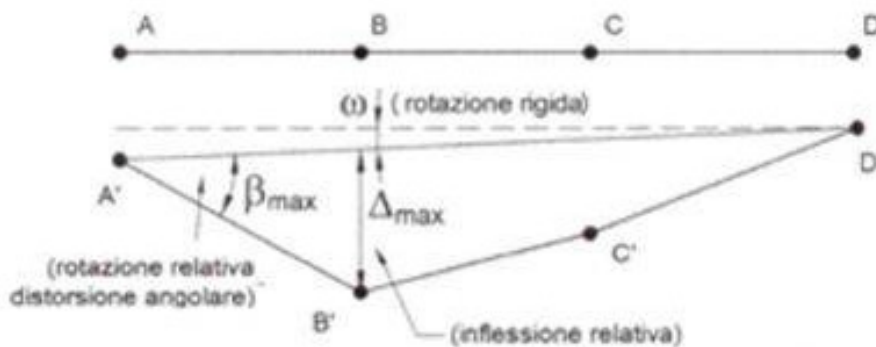
Sommando i contributi delle due gallerie, per condizioni eccezionali ( $V_p = 1.0\%$ ) si ottiene:



L'edificio ricade nelle curve di subsidenza delle due gallerie; in normali condizioni di esercizio il massimo cedimento è pari a 7,5mm circa; in condizioni eccezionali è pari a circa 2 cm.

I valori dei cedimenti sopra riportati saranno valutati in questa fase in riferimento al criterio della massima distorsione angolare  $\beta$ , sotto definita.

I valori assoluti dei cedimenti, sia per condizioni ordinarie di esercizio ( $V_p = 0.4\%$ ) sia per condizioni eccezionali ( $V_p = 1.0\%$ ) risultano infatti compatibili con l'esercizio delle strutture.



PROGETTAZIONE ATI:

Tipo di movimento	Fattore di limitazione	Valori ammissibile
<b>Rotazione relativa <math>\delta/L</math></b>	Murature portanti multipiano	0.0005-0.001
	Murature portanti ad un piano	0.001-0.02
	Lesioni di intonaci	0.001
	Telai in c.a.	0.0025-0.004
	Pareti di strutture a telaio in c.a.	0.003
	Telai in acciaio	0.002
	Strutture semplici di acciaio	0.005

Si ottiene:

	L[m]	$\delta$ [m]		$\beta$	
		Vp 0,4%	Vp 1,0%	Vp 0,4%	Vp 1,0%
Edificio 1	10	0	0,00065	0,00000	0,000065
Edificio 2	15	0,0012	0,0015	0,00008	0,0001
Edifici 3-4	20	0	0	0	0
Edificio 6	10	0,0036	0,012	0,00036	0,0012
Cimitero	10	0,006	0,012	0,0006	0,0012

Si può concludere che per le normali condizioni di esercizio non si prevedono danni alle strutture. In caso di eventi eccezionali potrebbero cominciare a manifestarsi lesioni agli intonaci per edificio 6 e per la struttura di delimitazione esterna del cimitero; le singole costruzioni interne, infatti, con impronta areale limitata, non saranno soggette a particolari fenomeni di distorsione.